

II-6

境界要素法による波動場数値計算の潜堤
周辺流れ場への適用

長岡技術科学大学 正員 細山田得三
 長岡技術科学大学 正員 早川 典生
 神戸市立高専 正員 辻本剛三

1. まえがき

近年、構造物背後の海域を静穏な親水性海域として多目的に利用する計画が進められており、そのため海水交換性が高く、海岸景観を損ねない潜堤が最適な構造物として選択されている。しかしながら、潜堤による波の変形等によって潜堤周囲の底質に対して種々の影響が生じていることが報告されている。この問題を解析するためには、波の変形およびそれによって誘起される内部変動流速場を知る必要がある。このような問題を数値シミュレーションモデルを用いて解析する場合、自由表面の変形に基づく適当な境界条件を用いてNS方程式を直接数値積分する方法とポテンシャル理論を用いて内部流速場を境界積分によって表示する方法（境界要素法）に大別されると考えられる。境界要素法による流速場の計算は、非粘性を仮定し、また未知数として速度ポテンシャルを用いているため流れ場が非回転であることを仮定しているため、一見適用に制限があると考えられる。また、境界要素法では波の非線型性を十分考慮することができ、海底地形の空間的な変化を容易に考慮することができる。さらに未知数が境界点のみに分布しているため計算時間が短いという長所もある。

本研究では、境界要素法を用いて潜堤周辺の流速場を対象とした数値計算を行い、その妥当性及び適用限界について検討した。

2. 境界要素法による非線形波動場のシミュレーション

本数値シミュレーションに用いた基礎方程式は、速度ポテンシャル ϕ に関するラプラス方程式であり、グリーン公式を使って境界積分形で表示する。境界条件は、固体壁の不透過条件式、自由表面の運動学的条件式及び力学的条件式（圧力方程式）である。圧力方程式以外の境界条件は、境界積分式の中で満たされる。圧力方程式については、別途重み付き残差法を用いて変形され、境界積分式と連立して解かれる。境界積分式及び重み付き残差式の非線形項の処理は、大山（1991）と同様にテイラー展開を2次まで展開し、十分収束するまで反復計算を行った。本計算で用いたグリーン関数 G は、ラプラス方程式に対応したもののみで、海底地形形状の変化に対しても柔軟に対応できる。内部流速 u については、計算によって時間発展的に求められた ϕ, η を用いて式（1）に示す境界積分を実行することによって計算することができる。

$$u_i = \frac{\partial \phi}{\partial \xi_i} = - \left\{ \int_S \phi \frac{\partial^2 G}{\partial \xi_i \partial n} ds - \int_{SF} n_z \frac{\partial \eta}{\partial t} \frac{\partial G}{\partial \xi_i} ds + \int_{SC} U \frac{\partial G}{\partial \xi_i} ds \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに i, ξ, U, SF, SC はそれぞれ2次元座標を区別する添え字、流速を計算する内点の座標、造波境界における流入流速、自由表面境界、造波境界である。本計算法による内部流速場の計算は、水平な底面を有する流速場については既にその妥当性が検証されている。ここでは図1には実験に用いた水槽の模式図を示す。計算は比較のために水槽中に台形型の不透過性の構造物を設置した場合と設置しない場合で行った。またいずれの場合においても数値水槽の水深は、70cmで、潜堤の高さは37.5cmである。潜堤の法勾配は、岸側、沖側双方で1:1である。造波周期は、1.5sで一定である。造波境界で与えた流速 U は、10から18cm/sまで5段階変化させた。

3. 計算結果と考察

図2には $U = 18\text{cm}$ 、波高水深比 $H/h = 0.21$ の場合の潜堤堤頂部 ($x = 9.3\text{m}$) 及び潜堤岸側の法面中央付近 ($x = 9.7\text{m}$) での水位変動の時系列を比較して示す。波の非線形性による波形の非対称性および尖りがあら

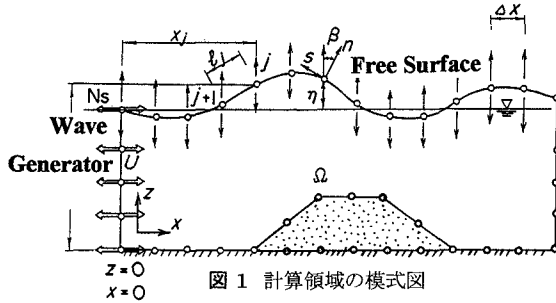


図1 計算領域の模式図

われている。これらの波形は、潜堤を設置していない場合においても生じる³⁾が、潜堤を設置した場合、波形の上向きの尖りがより著しくなっている。また、潜堤堤頂部付近 ($x = 9.3m$) で波の分裂による波形の変動が生じており、さらに進行して潜堤の岸側法面上付近でさらに分裂が増幅している。

図3には $x = 9.7m$ 、水深 $z = -0.2m$ 、 $z = -0.4m$ の点での水平 u ・鉛直流速 w の時系列を示している。また、 w の波形は、正弦波と比べてかなり歪んでいることが分かる。潜堤を設置した場合の流速波形は、総じて正弦波からのずれが増大している。また、 $w = -0.2m$ での鉛直流速波形は、上昇時と下降時の波形が異なっていることが分かる。また、 $w = -0.4m$ では底面の影響を受けて位相が変化している。法面においては、水平流速が最大の時、底面を下降する流速成分も生じているため、例えば微小振幅波理論が示すように u が最大の時に w が0になる位相関係からずれるものと思われる。なお、潜堤を設定していない場合は微小振幅波理論と同様 u と w は45度程度の位相のずれが生じていることも計算により確認されている³⁾。

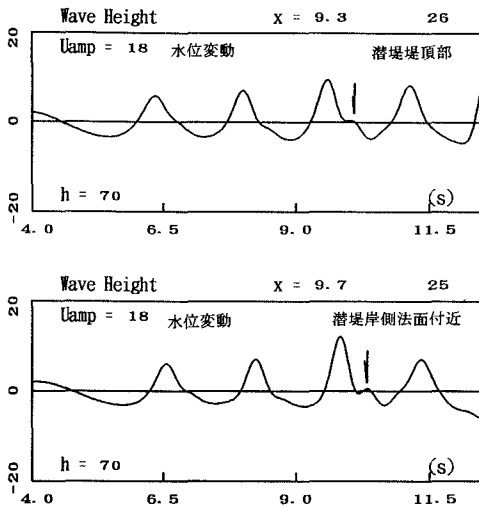


図-2 水位変動時系列 (cm)

(上段：潜堤堤頂部 下段：潜堤岸側法面付近)

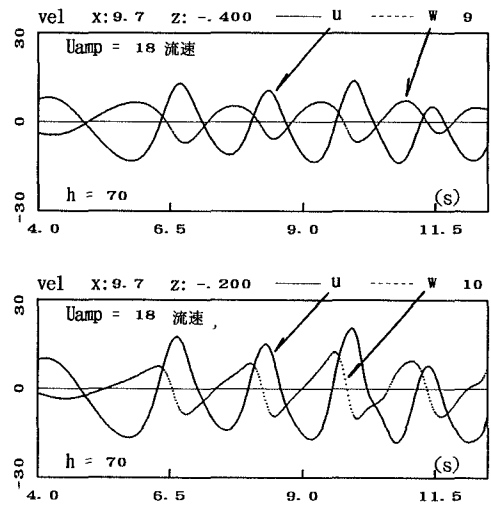


図-3 潜堤流速時系列

($x=9.7m$, 潜堤岸側法面付近の流速)

4. 結論

本数値シミュレーションにおいて不透過の場合の潜堤周辺の流速場がある程度計算できることが明らかとなった。境界要素法は、差分法と異なり数学的厳密性が高い反面、潜堤の透過性や砕波の効果を付加的に導入することが比較的難しい。今後は、差分法との比較検討を行いつつ、これらの効果を境界要素法に導入する方法を開発していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 大山巧：数値波動水槽の開発と非線形波動解析への応用，学位論文，東京工業大学（平成3年3月），132 p, 1991.
- 2) 大山巧：クノイド波の斜面越上の境界要素の解析，土木学会論文集，第381号／II-7，pp.189-198, 1987.
- 3) 細山田・高橋：境界要素法による防波堤に作用する波力の数値計算，海岸工学論文集，第40巻，pp.726-730 1993.